ChinaXiv合作期刊

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000－6060.2019.03.04

乌鲁木齐市近几年大气颗粒物中重金属的浓度特征①

帕丽达·牙合甫， 杨鹏月

（新疆农业大学草业与环境科学学院，新疆 乌鲁木齐 830052）

摘 要：采用重量法对 2014 年、2015 年、2017 年采暖期乌鲁木齐市新疆农业大学大气颗粒物 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$进行采集，使用 TAS－990 型火焰原子吸收分光光度计、PF3 型原子荧光光谱仪、石墨炉原子吸收分光光度计测定颗粒物中 5 种重金属元素的质量浓度，利用富集因子法分析重金属元素的富集程度及来源。结果表明：该采样点采暖期大气颗粒物 TSP、PM_{10}的质量浓度在近几年均呈现出下降趋势，$PM_{2.5}$的质量浓度变化趋势为：2017 年＞2015 年＞2014 年；重金属元素 As 的质量浓度在不同粒径大气颗粒物中均为最高值，且采暖期大气颗粒物中除 Cr 以外的重金属含量、重金属元素的富集程度近几年均呈现明显的下降趋势；重金属 As、Cr、Zn、Hg 元素更易富集于细颗粒物中。

关 键 词： 乌鲁木齐市；大气颗粒物；重金属；浓度特征

文章编号： 1000－6060(2019)03－0492－07(0492～0498)

近年来我国大部分城市频发的“雾霾”事件使大气颗粒物污染倍受关注，其相关研究随之逐渐成为环境领域的热点。重金属是大气颗粒物最主要的污染成分之一[1]，且该成分可随颗粒物通过呼吸道进入肺部组织，随体液循环扩散到人体组织中，对人类健康有极大的潜在威胁，此外重金属还具有生物富集性和不可降解性[2－4]。因此，灰霾天气下颗粒物中重金属的含量变化、污染特征、富集规律、时空分布及其来源已引起人们的广泛关注，相关研究也随之展开[5－9]。

近年来，众多学者对我国城市大气颗粒物中重金属方面开展了一系列研究，汪浪[10]揭示了我国多个城市 PM_{10}、$PM_{2.5}$中 7 种重金属水平的总体分布及区域分布特征，并探讨相关城市发展参数对不同粒径的颗粒物中重金属水平的影响。目前主要研究的重金属种类有 Pb、V、As、Mn、Ni、Cr、Cd、Cu 和 Zn。TAIWO 等[11]人认为重金属 Pb 的主要来源是机动车尾气和钢铁冶炼。中国是一个以煤为主体的生产和消费能源的国家，田贺忠等[12]人通过研究发现 As 是煤炭燃烧的标识组分，燃煤排放是大气中 As 的主要来源，因此 As 的富集主要和煤炭燃烧有关。陈兴茂等[13]人认为 Mn 主要来源于金属冶炼、扬尘和燃煤。TIAN 等[14]人认为 Cu 和 Zn 为机动车尾气的标识组分。

乌鲁木齐大气污染特征是大气复合污染，大气复合污染物的特征表现为同时出现高浓度的 O_3 和细颗粒物 $PM_{2.5}$，因此在研究大气光化学污染物，如：挥发性有机物、氮氧化物、臭氧的同时研究颗粒物及对颗粒物进行源解析在大气复合污染治理和复合污染物协同控制中有十分重要的意义。

由于乌鲁木齐市地形特殊，有不利的气象条件阻碍大气污染物扩散，冬季漫长，各类污染物排放量增大，污染物来源复杂、大气复合型污染突显，依然是全国大气重污染问题较突出的城市之一[15]。孙龙仁等[16]于 2007 年夏季对乌鲁木齐市 5 个功能区进行大气 PM_{10}、$PM_{2.5}$的采样，并通过分析其质量浓度和其中的 Pb、Cu 等 6 种重金属的含量，发现 5 个采样区夏季大气 PM_{10}、$PM_{2.5}$中 Cr、Ni、Cu、Cd、Pb 5 种重金属污染主要来自于人类活动，Mn 则来源于地壳物质。纪元等[17]人对乌鲁木齐市 2013 年一次重污染天气进行 $PM_{2.5}$的采集并对其中的 13 种重金属含量等进行了分析。亚力昆江·吐尔逊等[18]于 2007 年采暖期前期对乌鲁木齐市可吸入颗粒物（$PM_{2.5\sim10}$和 $PM_{2.5}$）进行采集，研究发现乌鲁木齐市 Cd、Hg 元素主要是人为源贡献，受土壤扬尘的影响较少；而 Co、Pb 元素主要来自自然来源。帕丽达·

① **收稿日期：**2018－12－03； **修订日期：**2019－03－11
基金项目：国家自然科学基金(21567028)
作者简介：帕丽达·牙合甫(1968－)，女，博士，副教授，研究区域大气污染成因及污染物迁移转化机制. E-mail:1474672291@qq.com

chinaXiv:201906.00006v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201906.00006v1

牙合甫等[19]通过对乌鲁木齐市冬季采暖期前后不同粒径大气颗粒物(TSP、PM_{10}、PM_5、$PM_{2.5}$)中 Hg、As、Zn、Pb、Ni 等 5 种重金属的分析发现,采暖期后期的 TSP、PM_{10}、PM_5、$PM_{2.5}$中各重金属 Igeo 值基本上均高于采暖期前期,Hg、Zn 元素主要是人为源贡献。

加强大气颗粒物中元素组成、来源解析等方面的研究具有重要的现实意义。通过对采样点的颗粒物的质量浓度以及 5 种典型的重金属元素的质量浓度的分析,探究大气不同粒径颗粒物中元素特征、污染来源,旨在为新疆区域大气雾霾联防联控、大气环境管理等方面提供基础数据和参考依据。

1 实验部分

1.1 样品采集

于 2014 年、2015 年及 2017 年采暖期(1 ~ 2 月),在新疆农业大学 7 号教学楼(地理坐标为 43°81′N、87°57′E)设置采样点,用重量法分别采集 3 种不同粒径大气颗粒物(TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$)样品,每次采样时间为 24 h,每次采样用四分法处理滤膜,共采集 72 个有效样品进行分析。

1.2 实验仪器及主要试剂

实验仪器:2050 型大气综合采样器、大气切割头(TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$型)、玻璃纤维滤膜、全自动电子天平、火焰(TAS-990)原子吸收分光光度计,石墨炉(GF-990)原子吸收分光光度计,双道原子荧光光谱仪(AFS-230E),消解瓶,200 mL 的三角瓶,电热板、超纯水等。

试剂:浓硝酸、高氯酸、超纯水、中性定量滤纸(实验所需药品均为优级纯)。

1.3 样品的分析方法

1.3.1 *颗粒物质量浓度的测定* 颗粒物的质量浓度采用重量法测定[20];样品的称重使用全自动电子天平。

1.3.2 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$*中重金属的测定* 采用 HNO_3-HClO_4 消解法分析 Zn、Cr、Pb、As、Hg 共 5 种典重金属,共获得 360 个重金属数据。

1.3.3 *各元素的分析* Pb、Cr 元素采用石墨炉原子吸收分光光度计测定,Zn 元素采用火焰原子吸收分光光度计测定,As、Hg 元素测定采用 PF3 型原子荧光光谱仪,分析共获得 360 个重金属数据。

2 结果与分析

2.1 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$质量浓度的分析

通过分析 2014—2017 年乌鲁木齐市采暖期空气质量数据发现:相比于 2014 年、2015 年的天气质量情况,2016 年、2017 年 1 ~ 2 月空气质量等级呈现重度污染,且 $PM_{2.5}$、PM_{10}的质量浓度均高于我国环境空气质量标准(GB3095-2012)中规定质量浓度的一级标准(表 1)。采暖期大气颗粒物 TSP、PM_{10}的质量浓度在近几年均呈现出下降趋势,$PM_{2.5}$的质量浓度变化趋势为:2017 年 > 2015 年 > 2014 年(图 1)。其主要原因可能是该采样点地势较低,南部有雅玛里克山,易形成山谷风,使得大气污染物随风扩散稀释。

表 1 大气颗粒物质量浓度与质量等级

Tab. 1 Atmospheric particulate matter mass concentration and quality level

日期	$PM_{2.5}$ /μg·m^{-3}	PM_{10} /μg·m^{-3}	*AQI*	质量等级
2014 年 1 月	114	185	151	中度污染
2014 年 2 月	81	123	109	轻度污染
2014 年 3 月	90	158	127	轻度污染
2015 年 1 月	119	169	154	中度污染
2015 年 2 月	126	207	167	中度污染
2015 年 3 月	65	116	96	中度污染
2016 年 1 月	185	257	231	重度污染
2016 年 2 月	201	287	245	重度污染
2016 年 3 月	79	130	112	轻度污染
2017 年 1 月	228	271	277	重度污染
2017 年 2 月	176	206	219	重度污染
2017 年 3 月	101	129	134	轻度污染

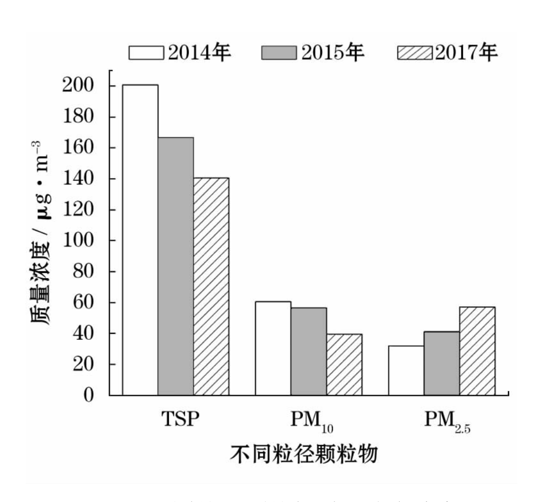


图 1 不同粒径颗粒物质量浓度分布

Fig. 1 Different particle size and particle size distribution

2.2 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$中重金属浓度分布特征

大气颗粒物中重金属在不同粒径颗粒物上的浓度分布特征各不相同。该采样点近几年采暖期TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$中重金属元素测定结果为:Cr 的浓度为1.31~8 $\mu g \cdot m^{-3}$;Hg 的浓度为0.15~3.14 $\mu g \cdot m^{-3}$;As 的浓度为11.79~120.47 $\mu g \cdot m^{-3}$;Zn 的浓度为5.16~31.11 $\mu g \cdot m^{-3}$;Pb 的浓度为1.05~6.83 $\mu g \cdot m^{-3}$。

2014 年不同粒径大气颗粒物中重金属的浓度值依次为:As > Zn > Pb > Cr > Hg,2015 年不同粒径大气颗粒物中重金属的浓度值依次为:As > Zn > Cr > Hg > Pb,2017 年不同粒径大气颗粒物中重金属的浓度值依次为:As > Cr > Zn > Pb > Hg;重金属 As 元素近年来在不同粒径大气颗粒物中浓度值均为最高值。

由图 2a~2e 可以看出:该采样点采暖期不同粒径大气颗粒物中,重金属 As、Pb、Zn 元素质量浓度近几年呈现明显的下降趋势,而重金属 Cr 元素的质量浓度呈现出逐年增加的趋势,重金属 Hg 元素的质量浓度在近几年呈现出 2015 年 > 2014 年 > 2017 年的变化趋势;As、Cr、Zn、Hg 元素在不同粒径颗粒物中的浓度值依次为:$PM_{2.5}$ > PM_{10} > TSP,而重金 Pb 元素在不同粒径颗粒物中的浓度值依次为:TSP > PM_{10} > $PM_{2.5}$,表明 As、Cr、Zn、Hg 更易富集于细颗粒物中;总体来看,采暖期大气颗粒物中的重金属含量近几年均呈现明显的下降趋势,其主要原因是随着乌鲁木齐市 2012 年实施"煤改气"工程,2015 年完成"蓝天工程"项目的实施,大气十条的相关发布,相关的大气环境治理措施以及新疆农业大学周边的环境改变等。

2.3 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$重金属污染源分析

富集因子法(EF_i)是研究大气颗粒物中各元素的富集程度而分析及判断人为源与自然源对大气不同粒径颗粒物中各元素浓度的贡献水平,表征颗粒物的来源[21-22],是用于评价元素的自然来源和人为来源的普遍方法[23-26]。富集因子(EF_i)的计算公式为:

$$EF_i = (C_i/C_n)_{样品} \Big/ (C_i/C_n)_{背景} \qquad (1)$$

式中:C_i 表示为重金属元素 i 的浓度;C_n 表示为被选定的参比元素 n 的浓度,国际上通常选取 Al、Fe、Si 作为参比元素。由于 Fe 在土壤中比较稳定,人为污染较小且在大气颗粒物中也普遍存在,故选择 Fe 为参比元素。各元素浓度的背景值取乌鲁木齐市土壤背景平均值,C_{Fe} = 3.60(百分数)为中国土壤背景平均值[27]。

根据颗粒物中元素的 EF_i 值的大小,将颗粒物中元素的富集程度分为 5 个级别(表 2)。

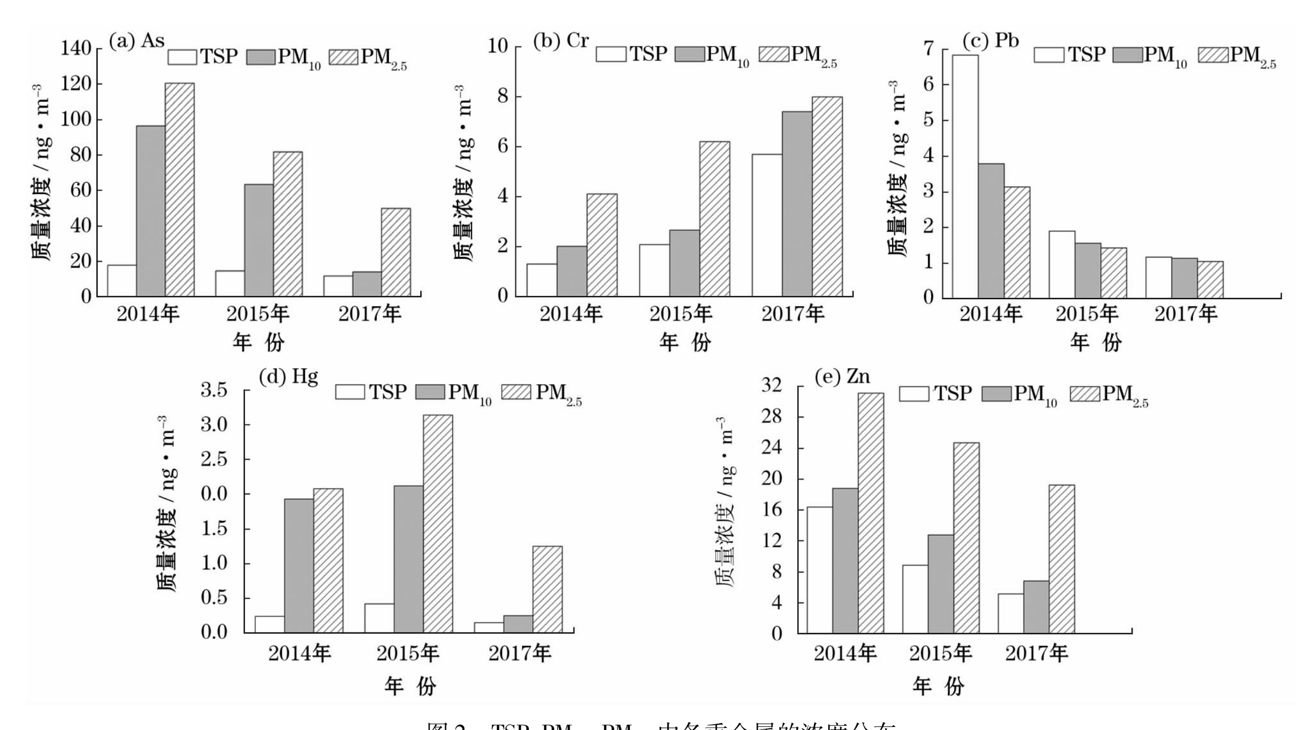


图 2 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$中各重金属的浓度分布

Fig. 2 Concentration distribution of different kind of heavy metals in TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$

chinaXiv:201906.00006v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201906.00006v1

EF_i 值越大,富集程度就越高[28]。如果某重金属元素的 $EF_i>10$,表明该元素主要来源于人为污染;如果某重金属元素的 $EF_i<10$,表明该元素主要来源于自然源和人为源共同作用、地壳或土壤。

大气颗粒物中几种典型重金属在乌鲁木齐市的土壤背景平均值表3所示[29]。

由图3a~3e可知,重金属As、Cr、Hg、Zn元素在大气颗粒物中富集程度为 $PM_{2.5}>PM_{10}>TSP$,重金属Pb元素在大气颗粒物中富集程度正好相反为 $TSP>PM_{10}>PM_{2.5}$,说明重金属As、Cr、Hg、Zn元素更易富集于细颗粒物中;As、Pb、Zn元素近几年富集程度趋势为:2014年>2015年>2017年,Cr元素为2017年>2015年>2014年,Hg元素近几年富集程度趋势为2015年>2014年>2017年;按照颗粒物中元素的富集程度划分级别,重金属Hg元素属于中度富集,表示富集明显,判定其来源属于人为污染源;重金属As元素的 EF_i 值基本上是 $1<EF_i\leqslant 10$,属于轻度富集,判定其来源属于自然源和人为源的共同作用;通过分析得出:重金属As、Hg元素与人类活动更亲切,主要是燃煤电厂、冬季供热取暖措施、机械制造等排放的颗粒物所造成的,是典型的污染元素;而重金属Zn、Cr、Pb元素的 EF_i 值在0~10之间,说明它们主要来自于地壳物质;总体来看,近几年大气颗粒物TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 中除Cr以外的重

表2 EF_i 与各粒径颗粒物中元素的富集程度的关系

Tab. 2 Relationship between EF_i and enrichment of elements in particle size particles

富集因子	$EF_i\leqslant 1$	$1<EF_i\leqslant 10$	$10<EF_i\leqslant 100$	$100<EF_i\leqslant 1\,000$	$EF_i>1\,000$
富集程度	基本无富集或微量富集	轻度富集	中度富集	高度富集	超富集
等级	1	2	3	4	5
来源	地壳或土壤	自然源和人为源共同作用	人为污染源	人为污染源	人为污染源

表3 乌鲁木齐市典型重金属土壤背景平均值

Tab. 3 Relationship between EF_i and enrichment of elements in particle size particles

重金属	Cr	As	Cu	Fe	Pb	Cd	Hg
土壤背景平均值 / $mg\cdot kg^{-1}$	47.40	10.78	26.70	3.60	11.20	0.160	0.06

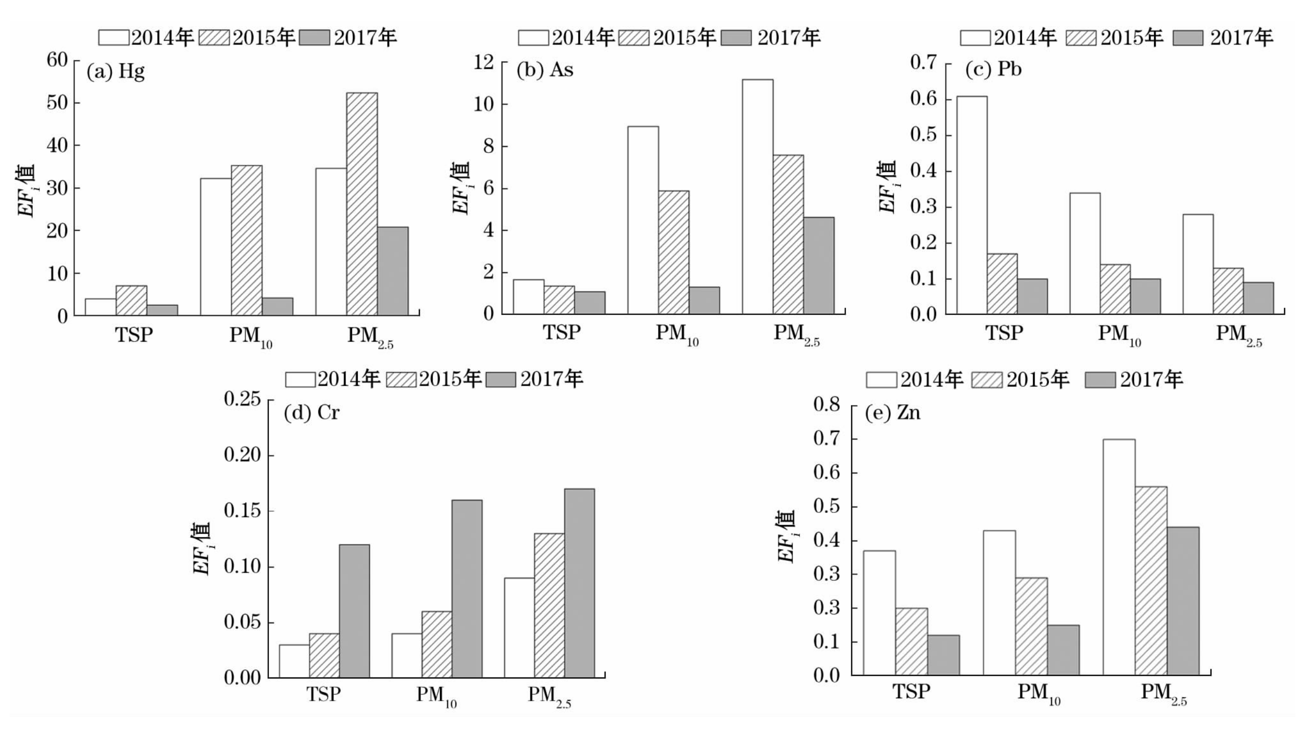


图3 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 中各重金属元素的富集因子

Fig. 3 TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$ in the enrichment factor of heavy metals

ChinaXiv合作期刊

金属元素的富集程度都呈现出下降趋势，且大气中重金属元素更易富集于细颗粒物中。

3 结 论

通过对乌鲁木齐市新疆农业大学 2014 年、2015 年、2017 年冬季采暖期的 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 中的重金属污染情况与分析，可以得出如下结论：

（1）采暖期大气颗粒物 TSP、PM_{10} 的质量浓度在近几年均呈现出下降趋势，$PM_{2.5}$ 的质量浓度呈现出上升趋势。

（2）近几年不同粒径大气颗粒物中重金属元素 As 的质量浓度均为最高值；重金属 As、Pb、Zn 元素质量浓度近几年呈现明显的下降趋势，而重金属 Cr 元素的质量浓度呈现出逐年增加的趋势，As、Cr、Zn、Hg 在不同粒径颗粒物中的浓度值相差依次为：$PM_{2.5}$ > PM_{10} > TSP，而重金 Pb 元素在不同粒径颗粒物中的浓度值相差依次为：TSP > PM_{10} > $PM_{2.5}$，说明重金属 As、Cr、Zn、Hg 元素更易富集于细颗粒物中。

（3）富集因子分析结果表明：重金属 As、Cr、Hg、Zn 元素在大气颗粒物中富集程度为：$PM_{2.5}$ > PM_{10} > TSP；As、Pb、Zn 元素近几年富集程度趋势为：2014 年 > 2015 年 > 2017 年，Cr 元素为：2017 年 > 2015 年 > 2014 年，Hg 元素近几年富集程度趋势为：2015 年 > 2014 年 > 2017 年；重金属 As、Hg 元素判定其来源属于自然源和人为源的共同作用；重金属 Zn、Cr、Pb 它们主要来自于地壳物质。

参考文献(References)

[1] 葛杨，梁淑轩，孙汉文. 大气气溶胶中重金属元素痕量分析及形态分析研究进展[J]. 环境监测管理与技术，2007，6(19)：9－14. [GE Yang, LIANG Shuxuan, SUN Hanwen. Research process in analysis and morphological analysis of heavy metal components in atmospheric aerosol[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring，2007，6(19)：9－14.]

[2] 胡星明，王丽平，毕建洪. 城市大气重金属污染分析[J]. 安徽农业科学，2008，36(1)：302－303. [HU Xingming, WANG Liping, BI Jianhong. Research on the heavy metal pollution in city atmosphere[J]. Anhui Agricultural University，2008，36(1)：302－303.]

[3] 王伟. 南京市大气 $PM_{2.5}$ 中重金属元素时空分布、来源及健康风险评价[D]. 南京：南京信息工程大学，2017. [WANG Wei. Spatial-temporal variation, sources and risk assessment of heavy metals in ambient $PM_{2.5}$ of Nanjing[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology，2017.]

[4] 王平利，戴春雷，张成江. 城市大气中颗粒物的研究现状及健康效应[J]. 中国环境监测，2005，21(1)：84－88. [WANG Pingli, DAI Chunlei, ZHANG Chengjiang. The study progress in the research for the particular in city air and its effect on human health[J]. Environmental Monitoring in China，2005，21(1)：84－88.]

[5] 王嘉珺，赵雪艳，姬亚芹，等. 抚顺市 PM_{10} 中元素分布特征及来源分析[J]. 中国环境监测，2012，28(4)：107－113. [WANG Jiajun, ZHAO Xueyan, JI Yaqin, et al. Elemental characteristics and source apportionment of PM_{10} in Fushun[J]. Environmental Monitoring in China，2012，28(4)：107－113.]

[6] 王晴晴，谭吉华，马永亮，等. 佛山市冬季 $PM_{2.5}$ 中重金属元素的污染特征[J]. 中国环境科学，2012，32(8)：1384－1391. [WANG Qingqing, TAN Jihua, MA Yongliang, et al. Characteristics of heavy metals in $PM_{2.5}$ during winter in Foshan City[J]. China Environmental Science，2012，32(8)：1384－1391.]

[7] 王秦，陈曦，何公理，等. 北京市城区冬季雾霾天气 $PM_{2.5}$ 中元素特征研究[J]. 光谱学与光谱分析，2013，33(6)：1441－1445. [WANG Qin, CHEN Xi, HE Gongli, et al. Study on characteristics elements in $PM_{2.5}$ during haze-fog weather in winter in urban Beijing[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis，2013，33(6)：1441－1445.]

[8] 杨卫芬，银燕，魏玉香，等. 霾天气下南京 $PM_{2.5}$ 中金属元素污染特征及来源分析[J]. 中国环境科学，2010，30(1)：12－17. [YANG Weifen, YIN Yan, WEI Yuxiang, et al. Characteristic and sources of metal elements in $PM_{2.5}$ during haze days in Nanjing[J]. China Environmental Science，2010，30(1)：12－17.]

[9] 刘艳秋，韩成哲，金丽灿，等. 图们市大气颗粒物中重金属含量及分布特征[J]. 中国环境监测，2009，25(2)：63－66. [LIU Yanqiu, HAN Chengzhe, JIN Lican, et al. Contents and distribution characteristic of heavy metal in atmospheric particulate of Tumen City[J]. Environmental Monitoring in China，2009，25(2)：63－66.]

[10] 汪浪. 中国城市 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 中重金属水平及影响因素分析[D]. 贵阳：贵州师范大学，2017. [WANG Lang. Reviews of heavy metals in $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the cities of China[D]. Guiyang: Guizhou Normal University，2017.]

[11] TAIWO A M, HARRISON R M, SHI Z. A review of receptor modelling of industrially emitted particulate matter[J]. Atmospheric Environment，2014，97：109－120.

[12] 田贺忠，曲益萍. 中国燃煤大气砷排放及其污染控制[J]. 中国电力，2008，41(12)：82－86. [TIAN Hezhong, QU Yiping. Emission and control of atmospheric arsenic from coal combustion in China[J]. Electric Power，2008，41(12)：82－86.]

[13] 陈兴茂，冯丽娟，李先国，等. 青岛地区大气气溶胶中微量金属的时空分布[J]. 环境化学，2004，(3)：334－340. [CHEN Xingmao, FENG Lijuan, LI Xianguo, et al. Spatiotemporal distributions of trace metals of atmospher-ic aerosols in Qingdao area, China[J]. Environmental Chemistry，2004，(3)：334－340.]

[14] TIAN H, ZHU Z, GAO C Y, et al. Quantitative assessment of at-

chinaXiv:201906.00006v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201906.00006v1

mospheric emissions of toxic heavy metals from anthropogenic sources in China[J]. Atmospheric Chemistry & Physics Discussions,2015,15:10127 – 10147.

[15] 钱翌,巴雅尔塔. 乌鲁木齐市大气污染物时空分布特征研究[J]. 新疆农业大学学报,2004,27(4):51 – 55. [QIAN Yi, BAYAERTA. Study on temporal and spatial distribution character of air pollutant in Urumqi[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University,2004,27(4):51 – 55.]

[16] 孙龙仁,郑春霞,王文全,等. 乌鲁木齐市夏季大气 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 中重金属的分布特征[J]. 天津农业科学,2009,15(2):37 – 41. [SUN Longren, ZHENG Chunxia, WANG Wenquan, et al. Characteristic of heavy metal distribution in PM_{10} and $PM_{2.5}$ from atmospheric samples in Urumqi in summer[J]. Tianjin Agricultural Sciences,2009,15(2):37 – 41.]

[17] 纪元,康宏,李刚. 乌鲁木齐市冬季重污染天气下 $PM_{2.5}$ 中重金属污染特征及来源解析[J]. 干旱环境监测,2016,30(3):127 – 131. [JI Yuan, KANG Hong, LI Gang. The heavy metal pollution characteristics and source apportionment of $PM_{2.5}$ under the heavy pollution of Urumqi winter weather[J]. Arid Environmental Monitoring,2016,30(3):127 – 131.]

[18] 亚力昆江·吐尔逊,迪丽努尔·塔力甫,阿不力克木·阿布力孜,等. 乌鲁木齐市采暖期大气 $PM_{2.5}$、$PM_{10\sim2.5}$ 中重金属污染水平评价[J]. 新疆大学学报(自然科学版),2010,27(3):338 – 342. [TURSUN Yalkunjan, TALIFU Dilnur, ABLIZI Ablikim, et al. Pollution Level of heavy metals in $PM_{2.5}$ and $PM_{10\sim2.5}$ during winter in Urumqi[J]. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition),2010,27(3):338 – 342.]

[19] 帕丽达·牙合甫,努尔比亚·藿加吾买尔,麦麦提·斯马义. 乌鲁木齐采暖期 TSP、PM_{10}、PM_5、$PM_{2.5}$ 中重金属污染水平评价[J]. 中国环境监测,2016,32(5):56 – 59. [YAHEFU Palida, HUOJIAWUMAIER Nuerbiya, SIMAYI Maimaiti. Evaluation on heavy metal pollution levels in TSP, PM_{10}, PM_5, $PM_{2.5}$ during heating period of Urumqi[J]. Environmental Monitoring in China, 2016,32(5):56 – 59.]

[20] 崔九思,王钦源,王汉平. 大气污染检测方法[M]. 北京:化学工业出版社,1997:69 – 71. [CUI Jiusi, WANG Qinyuan, WANG Hanping. Air pollution detection method[M]. Beijing: Chemical Industry Press,1997:69 – 71.]

[21] SARVA M PRAVEENA, MIROSLAV R, et al. The assessment of man grove sediment quality in Mengkabong Lagoon: An index analysis approach[J]. International Journal of Environmental & Science Education,2007,2(3):60 – 68.

[22] 沈轶,陈立民,孙久宽,等. 上海市大气 $PM_{2.5}$ 中 Cu、Zn、Pb、As 等元素的浓度特征[J]. 复旦学报(自然科学版),2002,41(4):405 – 408. [SHEN Yi, CHEN Limin, SUN Jiukuan, et al. Concentration feature of element Cu, Zn, Pb, As, et al in $PM_{2.5}$ of Shanghai atmosphere[J]. Journal of Fudan University (Natural Science),2002,41(4):405 – 408.]

[23] WANG Q Q, TAN J H, MA Y L, et al. Characteristics of heavy metals in $PM_{2.5}$ during winter in Foshan City[J]. China Environmental Science,2012,32(8):1384 – 1391.

[24] YUAN X Y, YE Z X, YANG H J, et al. Characteristics of fine particles in urban road atmospheric environment in Chengdu[J. Chinese Journal of Environmental Engineering,2015,9(9):4598 – 4602.

[25] LI Y P, LIU H F, ZHOU H, et al. Contamination characteristics and health risk assessment of toxic heavy metals in $PM_{2.5}$ in Chengdu [J]. China Environmental Science,2015,35(7):2225 – 2232.

[26] YUAN X Y, YE Z X, YANG H J, et al. Characteristics of $PM_{2.5}$ pollution during the world car free day in Chengdu[J]. Environmental Science & Technology,2015,38(8):22 – 26.

[27] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:329 – 492. [China Environmental Monitoring Station. Chinese soil element background value[M]. Beijing: China Environmental Science Press,1990:329 – 492.]

[28] 张红芳,王伟平,范锴. 宝鸡市区 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 中 5 种重金属元素的大气污染特征研究[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版),2015,2(35):70 – 76. [ZHANG Hongfang, WANG Weiping, FAN Kai. Research on pollution characteristics of 5 kinds of heavy metals in PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Baoji City[J]. Journal of Baoji University of Arts and Sciences (Natural Science Edition), 2015, 2(35):70 – 76.]

[29] 胡慧玲. 乌鲁木齐市郊安宁渠区土壤重金属的污染调查[J]. 干旱环境监测,2003,17(2):117 – 122. [HU Huiling. The investigation of the heavy metal pollution in the Anningqu District [J]. Arid Environmental Monitoring,2003,17(2):117 – 122.]

ChinaXiv合作期刊

Concentration characteristics of heavy metals in the atmospheric particles in Urumqi City in recent years

YAHEFU Palida, YANG Peng-yue

(*College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830052, *Xinjiang, China*)

Abstract: By using the gravimetric method, the atmospheric TSP, PM_{10} and $PM_{2.5}$ over the campus of Xinjiang Agricultural University at Urumqi, Xinjiang, China were collected during the heating period in 2014, 2015 and 2017 and analyzed for their mass concentration of 5 heavy mental elements. TAS – 990 flame atomic absorption spectrophotometer was used to determine the concentration of Zn, PF3 atomic fluorescence spectrometer was used to determine the concentrations of As and Hg, and graphite furnace atomic absorption spectrophotometer was used to determine the concentrations of As and Hg. The results are as follows: the concentration of Cr is 1.31 – 8 $ng \cdot m^{-3}$; the concentration of Hg is 0.15 – 3.14 $ng \cdot m^{-3}$; the concentration of As is 11.79 – 120.47 $ng \cdot m^{-3}$; the concentration of Zn is 5.16 – 31.11 $ng \cdot m^{-3}$; the concentration of Pb is 1.05 – 6.83 $ng \cdot m^{-3}$. The enrichment factor method was used to analyze the enrichment degree and source of heavy metal elements, and the study explored the characteristics of elements and sources of pollution in different particle sizes of air in Xinjiang Agricultural University of Urumqi. The results showed that, during the heating period, the mass concentration of atmospheric particles TSP and PM_{10} showed a downward trend in recent years, and the mass concentration of $PM_{2.5}$ showed an upward trend. In recent years, the mass concentration of heavy metal As in airborne particles with different particle sizes was the highest; the concentration of heavy metals As, Pb and Zn has shown a significant downward trend in recent years, while the concentration of heavy metal Cr has been increasing gradually. The concentration differences of As, Cr, Zn and Hg in different particle sizes were presented in the descending order as $PM_{2.5}$, PM_{10} and TSP, and for Pb the descending order list was TSP, PM_{10}, and $PM_{2.5}$, so it showed that the heavy metals As, Cr, Zn and Hg were more easily concentrated in fine particles. The results of enrichment factor analysis showed that the enrichment degree of heavy metals As, Cr, Hg and Zn in atmospheric particulates were presented a descending order list as $PM_{2.5}$, PM_{10} and TSP, the degree of enrichment of As, Pb and Zn in recent years indicated the highest value in 2014, the lowest value in 2017 and an intermediate value in 2015, and for the Cr element, the highest value in 2017, the lowest value in 2014 and an intermediate value in 2015, and for the Hg element, the highest value in 2015, the lowest value in 2017 and an intermediate value in 2014. The heavy metal Hg element is moderately enriched, indicating that the enrichment is obvious, and its source is determined to be anthropogenic pollution source; the EF_i value of the heavy metal As element is basically in the range from 1 to 10, which belongs to mild enrichment, and its source is judged to be natural and artificial. The EF_i values of heavy metals Zn, Cr, and Pb are between 0 and 10, indicating that they are mainly derived from crustal materials. Overall, the degree of enrichment of the heavy metal elements other than Cr in atmospheric particulate matter TSP, PM_{10}, and $PM_{2.5}$ shows a downward trend in recent years, and heavy metal elements in the atmosphere are more likely to be concentrated in fine particles.

Key words: Urumqi city; heavy metals; pollution evaluation; concentration characteristics

chinaXiv:201906.00006v1